

Joonas Tuominen

Maasulkuvikavirtojen hallinta keskijänniteverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

26.2.2015

Tekijä Otsikko	Joonas Tuominen Maasulkuvirtojen hallinta keskijänniteverkossa
Sivumäärä Aika	22 sivua 26.2.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Sampsa Kupari Verkkopäällikkö Antti Rautiainen
<p>Insinöörityössä selvitettiin LE-sähköverkko Oy:n jakeluverkossa esiintyvien maasulkuvikavirtojen suuruus ja tutkittiin nykyisten suojausten riittävyyttä. Nykyiset maasulkuvikavirrat saatiin verkostotyökaluilla laskettua. Kaapeloinnin lisääntyessä kasvava maasulkuvikavirta aiheuttaa kosketusjännitteiden nousun kompensoiduissa verkoissa. Työssä selvitettiin mitä ratkaisuja tulisi tehdä, jotta kosketusjännitteet pysyvät sallituissa rajoissa. Selvitetiin myös maasulkukompensoinnin riittävyys nykyään sekä tulevaisuudessa kaapeloinnin lisääntyessä.</p> <p>Verkostolaskentaohjelmat laskivat jokaiselle päämuuntajalle maasulkuvikavirran, jonka avulla saatiin laskettua verkossa esiintyvät kosketusjännitteet maadoitusmittausten perusteella. Tulevaisuuden kaapelointia varten valittiin todennäköisin maakaapeli, jonka avulla saatiin laskettua arvioitu maasulkuvikavirran kasvu. Näin saatiin tulevaisuuden kannalta laskettua, milloin nykyiset kompensointikuristimet jäävät pieniksi ja miten paljon lisäkompensointia olisi hankittava.</p> <p>Todettiin hajautetun kompensoinnin soveltuvan joissain määrin Lahti Energian verkossa. Tulevaisuudessa eteen tulee keskitettyjen kompensointikuristimien uusiminen jokaisella asemalla, paitsi Sopenkorven sähköasemalla. Hajautettu tulee oleelliseksi ainoastaan Salpakankaan, Uudenkylän ja Kalliolan sähköasemien muutamien lähtiöihin. Tämän lisäksi sillä voidaan saada halvempi maasulkukompensoinnin lisäys Kymijärven ja Kytölän sähköasemille kaapeloinnin lisääntyessä.</p> <p>Tästä versiosta on poistettu joitain osia, jotka on tarkoitettu yrityksen omaan käyttöön.</p>	
Avainsanat	maasulku, maasulkuvikavirta, maasulkuvikavirran kompensointi

Author Title	Joonas Tuominen Phase-to-Ground Fault Current Control in Medium Voltage Grid.
Number of Pages Date	22 pages 26 February 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior Lecturer Antti Rautiainen, Network asset Manager
<p>In this thesis LE-sähköverkko's distribution grid's phase-to-ground fault currents and also the adequacy of protections were studied. Current phase-to-ground currents were calculated by network tool software. As cabling increases, the phase-to-ground fault current rises. This study determines what should be done, so that contact voltage will not rise above limits. The study also clarifies whether the current phase-to-ground fault compensation is enough as it is and whether it is sufficient in future.</p> <p>Network tool software calculated phase-to-ground fault current and with that, contact voltage could be calculated based on earth resistance. As for cabling in the future, the most probable cable was selected and with that, estimated new phase-to-ground fault current was calculated. This way it was possible to calculate when current phase-to-ground compensation reactors remain too small and how much additional compensation should be acquired.</p> <p>Distributed compensation was found to be somewhat good solution in Lahti Energia's grid. In the future, updating centralized compensation will be an issue at every substation. Distributed compensation was an acceptable solution in some egresses of Salpakangas', Uusikylä's and Kallio's substations. Also, distributed compensation could become a cheaper solution for rising phase-to-ground fault current in Kymijärvi's and Kytölä's substations, as more cabling is done.</p> <p>Some parts were removed from this version, as they were for company use only.</p>	
Keywords	Phase-to-ground, Phase-to-ground fault current, Phase-to-ground fault current compensation

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maasulun teoria	1
2.1	Maasulku maasta erotetussa verkossa	2
2.2	Maasulku kompensoidussa verkossa	4
2.3	Kosketusjännite	6
3	Maasulkuvikavirran kompensointi	8
3.1	Maasulkuvikavirran kompensointi keskitetysti	9
3.2	Maasulkuvikavirran kompensointi hajautetusti	9
4	Maasulkuvikavirran suuruus nykyään	11
4.1	Kytölän sähköasema	12
4.2	Kymijärven sähköasema	12
4.3	Salpakankaan sähköasema	13
4.4	Sopenkorven sähköasema	13
4.5	Villähteen sähköasema	14
4.6	Kalliolan sähköasema	14
4.7	Uudenkylän sähköasema	15
5	Maasulkuvikavirran suuruus kaapeloinnin lisääntyessä	15
5.1	Kytölän sähköasema	16
5.2	Kymijärven sähköasema	16
5.3	Salpakankaan sähköasema	17
5.4	Sopenkorven sähköasema	17
5.5	Villähteen sähköasema	18
5.6	Kalliolan sähköasema	18
5.7	Uudenkylän sähköasema	19

6	Ratkaisuja maasulkuvirran hallintaan	19
6.1	Topologiamuutokset	19
6.2	Kompensoinnin lisääminen	20
6.3	Maadoitusten varmentaminen	21
7	Johtopäätökset	21
	Lähteet	23

Lyhenteet

AJK	aikajälleenkytkentä
C	vaiheen maakapasitanssi
I_e	maasulkuvikavirta
PJK	pikajälleenkytkentä
R_e	maadoitusresistanssi
R_f	vikaresistanssi
U	pääjännite
U_e	maadoitusjännite
U_{TP}	kosketusjännite
U_v	vaihejännite
U_0	nollajännite

1 Johdanto

Vuonna 1990 Lahden kaupunki yhtiöitti Lahden Energialaitoksen ja Lahti Energia Oy sai alkunsa. 2007 Lahti Energia Oy eriytti verkkoliiketoimintansa omaksi yhtiöksi, jolloin syntyi LE-sähköverkko Oy. LE-sähköverkko Oy:n toiminta-alue käsittää Lahden lisäksi osia Hollolasta, Nastolasta, Iitistä, Hämeenkoskesta ja Asikkalasta. Yhteensä LE-sähköverkko Oy:llä on hoidettavana 10 sähköasemaa, 1 474 jakeluverkkomuuntamoaa ja 1 102 km keskijännitesähköverkkoa. Sähkön siirron asiakkaita LE-sähköverkko Oy:llä oli 83 152 kpl vuonna 2013. Lahti Energialla oli samaisena vuonna 89 107 kpl sähkön myyntiasiakasta.

Työssä tarkastellaan LE-sähköverkko Oy:n maasulkuvikavirran hallintaa. Työssä tutkitaan nykyistä kompensointia sekä pohditaan sen riittävyyttä ja mahdollisia lisäyksiä. Havainnoidaan maasulkuvirran kasvua tulevaisuudessa kaapeloinnin lisääntyessä ja tutkitaan hajautetun kompensoinnin soveltuvuutta

Tulevaisuudessa sähkönlaatuvaatimukset varmasti kiristyvät, joten verkon varmuutta tulisi lähtökohtaisesti parantaa aina, kun se on taloudellisesti mahdollista/oikeutettavissa. Maasulun kompensoinnilla kyetään vähentämään katkoja, ja kaapeloinnin kiihtyessä tulee yleisemmäksi kompensoida myös maakaapeliverkko. Tämä aiheuttaa kiristyneitä vaatimuksia maadoituksilta sekä suuria taloudellisia investointeja kompensointikuristimien osalta.

2 Maasulun teoria

Maasuluista aiheutuvat ongelmat ovat kasvava haitta verkoissa, sillä kaapeloinnin lisääntyessä kasvavat myös maasulkuvirrat lisääntyneen maakapasitanssin takia. Maasulkuvirran suuruus riippuu galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituudesta. Vaikka maakaapeliverkossa maasulun synty on harvinaisempaa kuin avojohtoverkossa, aiheuttavat kasvavat maasulkuvirrat kosketusjännitteen kautta tarvetta rajoittaa maasulkuvirran suuruutta. Maasulkuvirran kapasitiivisen luonteen takia virtaa pystytään kumoamaan muuntajan tähtipisteeseen kytketyn kompensointikelan avulla. Tilannetta tarkastellaan aluksi maasta erotetussa verkossa.

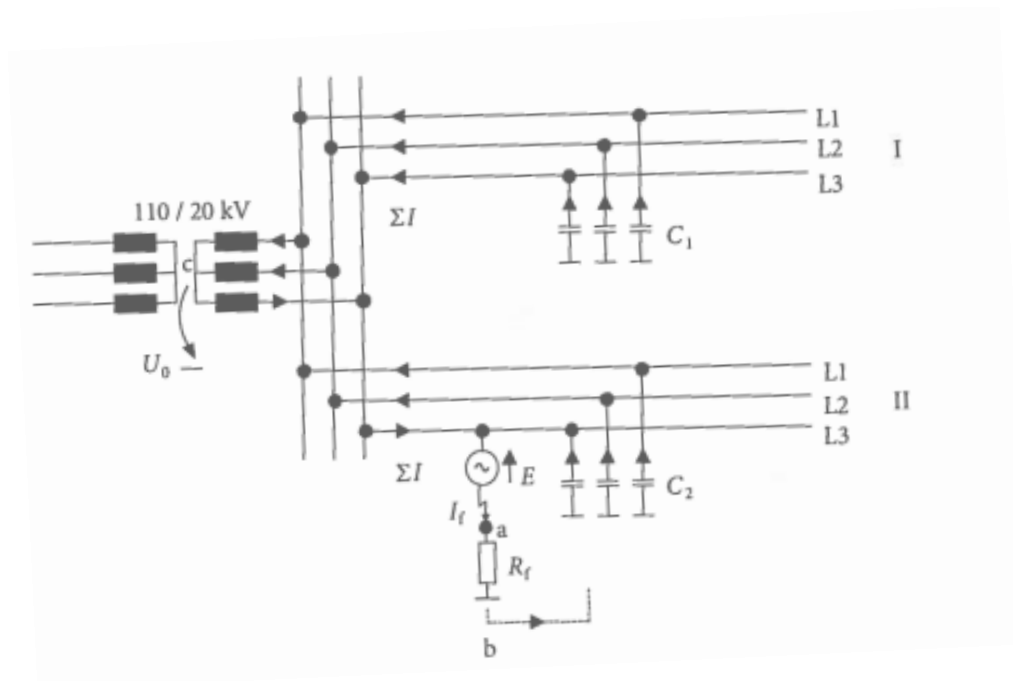
2.1 Maasulku maasta erotetussa verkossa

Maasta erotetussa verkossa muuntajan tähtipistettä ei ole liitetty maahan. Tätä tapaa käytetään Suomen huonojen maadoitusolosuhteiden takia. Maasulku syntyy, kun vaihejohdin on kosketuksessa maahan tai suojamaadoitettuun osaan. Maasulku voi tapahtua myös johdon katketessa tai maakaapelin tapauksessa johdon eristyksen vaurioituessa. Kaikissa tapauksissa esiintyy vikaresistanssi R_f . Maasulkuvirran suuruus saadaan laskettua kaavasta (1):

$$I_e = \frac{j3\omega C}{1+j3\omega CR_f} U_v \quad (1)$$

Maasulkuvirran laskukaava. U_v = vaihejännite, R_f = vikaresistanssi, ω = verkon kulmataajuus ($2\pi 50\text{Hz}$), C = Yhden vaiheen maakapasitanssi

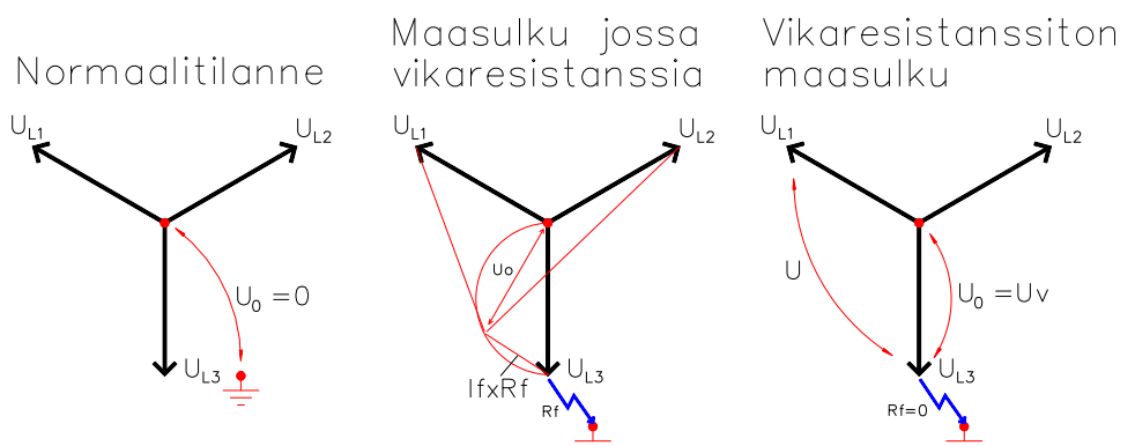
Ilmajohtojen tuottama maasulkuvikavirta on keskimäärin 0,067 A/km. Maakaapelin maasulkuvikavirta on tyypillisesti 2,7- 4 A/km, mutta sen suuruus riippuu kaapelin rakenteesta (1, s. 186). Maakaapeleilla onkin käytettävä valmistajan ilmoittamia arvoja. Maakaapeliverkon suurempi maasulkuvirran tuotto johtuu maakapasitanssin kasvusta. (Kuva 1.)



Kuva 1. Maasulku maasta erotetussa verkossa (1, s. 183)

Kuvasta (1) nähdään, että maasulku tapahtuu vaihejohtimesta maahan, josta se maakapasitanssin kautta siirtyy terveisiin vaiheisiin loisivirraksi. Johtimien impedanssien kautta virta siirtyy muuntajan käämityksiin sekä tähtipisteeseen ja tästä edelleen vikaanpaikkaan. Johtimien impedanssit sekä muuntajan käämien impedanssit ovat muutamien ohmien luokkaa, kun taas maakapasitanssin impedanssit ovat satoja tai tuhansia ohmeja, joten ne voidaan laskelmissa olettaa nolliksi (1, s. 183). Tämän perusteella voidaan todeta, että muuntajan kytkentäryhmä ei vaikuta maasulkuvirran suuruuteen. Hyvin pitkillä lähdöillä johtimien resistanssi aiheuttaa kuitenkin jäännösvirran kasvu, joka tulee ottaa huomioon kompensoinnin suunnittelussa.

Maasulku aiheuttaa maassa potentiaalinnousun sen siirryessä lähemmäs vaihejännitettä. Tähtipisteen ja maan välillä on tällöin potentiaaliero, jota kutsutaan nollajännitteeksi U_0 . Tämä aiheuttaa terveiden vaiheiden potentiaalinnousun lähemmäs pääjännitettä. Vikaresistanssittomassa maasulussa nollajännite on vaihejännitteen suuruinen, jolloin kahdesta terveestä vaiheesta tulee pääjännitteen suuruisia. Vikapaikassa esiintyy askeljännitteitä, mikä on nimensä mukaisesti jalkojen välinen jännite. Vikapaikassa maan potentiaali nousee, ja se pienenee mentäessä kauemmas. Tällöin vikaikan läheisyydessä kävellessä jalkojen väliin syntyy potentiaaliero, joka kulkeutuu ihmisen kautta aiheuttaen mahdollisesti hengenvaaran. Tämän takia vikaikan läheisyydestä poistuttaessa tulisi poistua tasajalkaa hyppien. Vaihejännitteet eritilanteissa esitetään kuvassa 2:



Kuva 2. Vaihejännitteet normaalissa tilanteessa, sekä vikaresistanssisessa, että resistanssittomassa maasulussa (2)

Nollajännitteen nousua käytetään havaitsemaan maasulkutilanne kompensoimattomassa verkossa. Vikatilanteessa nollajännitteen suuruus riippuu vikaresistanssin R_f suuruudesta. Kaavalla 2 saadaan laskettua nollajännitteen nousu:

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} I_e R_f}{U} \right)^2}} \quad (2)$$

Saatu arvo on suhteellinen nollajännite, josta ilmenee vikaresistanssin suuruus. Kaavalla voidaan mitoittaa releet havahtumaan myös suuriresistanssiin vikoihin. Mitoituksessa tulee kuitenkin huomioida luontainen epäsymmetria, joka aiheuttaa pientä nollajännitettä.

2.2 Maasulku kompensoidussa verkossa

Maasulku kompensoidussa verkossa voi syntyä samoista syistä kuin ei-kompensoidussa verkossa. Maasulkuvikavirta on kapasitiivista, jolloin sen suuruutta voidaan rajoittaa muuntajan tähtipisteeseen liitettyllä kompensointikelalla. Jos päämuuntajan toisiossa ei ole tähtikytkentää johon kela liitetään, käytetään erillistä maadoitusmuuntajaa. Maadoitusmuuntajan kytkentäryhmä on Zn.

Kompensointikela on kytketty muuntajan tähtipisteen ja maan väliin, jolloin maasulkutilanteessa osa virrasta kulkee sen kautta tähtipisteeseen ja tästä edelleen vikakohtaan. Koska kyseinen virta on vastakkaissuuntaista kuin maakapasitanssien kautta syntyvä virta, esiintyy vikakohdassa lopulta näiden vastakkaisten osien summa.

Kapasitiivista maasulkuvikavirtaa jäädessä puhutaan osittaiskompensoidusta ja sammutuksesta, kun kuristin on viritetty resonanssiin maakapasitanssin kanssa kumoten sen. Käytännössä ei voida saavuttaa täydellistä sammutusta erilaisten häviöiden, yliaaltojen ja epäsymmetrian takia. Kuvassa 3 on esitetty maasulku kompensoidussa verkossa.

Hajautetussa kompensoinnissa eripuolille verkkoa on sijoitettu pieniä kompensointikuristimia jakelumuuntajien kylkeen. Kompensoitavat virrat ovat pieniä, suurimmillaan 15 A. Hajautetulla kompensoinnilla saadaan kompensoitua yksittäisen johtolähdön tuottamaa maasulkuvikavirtaa.

Keskijänniteverkossa esiintyy suuri epäsymmetria maasulun aikana, mutta jakelumuuntajien toisiopuolella, pienjännite puolella, jännitteet pysyvät muuttumattomina, jos muuntajan ensiöpuoli on kytketty kolmioon (1, s. 189). Käämien yli vaikuttaa normaalissa sekä vikatilanteessa pääjännite. Verkon käyttö maasulun aikana on mahdollista, mutta rajoittavaksi tekijäksi tulee kosketusjännitteiden kasvu. Standardi vaatii, että vika tulee kytkeä irti verkosta, vaikka kosketusjännitearvot olisivatkin sallittuja, viimeistään kahden tunnin päästä (3, s. 72).

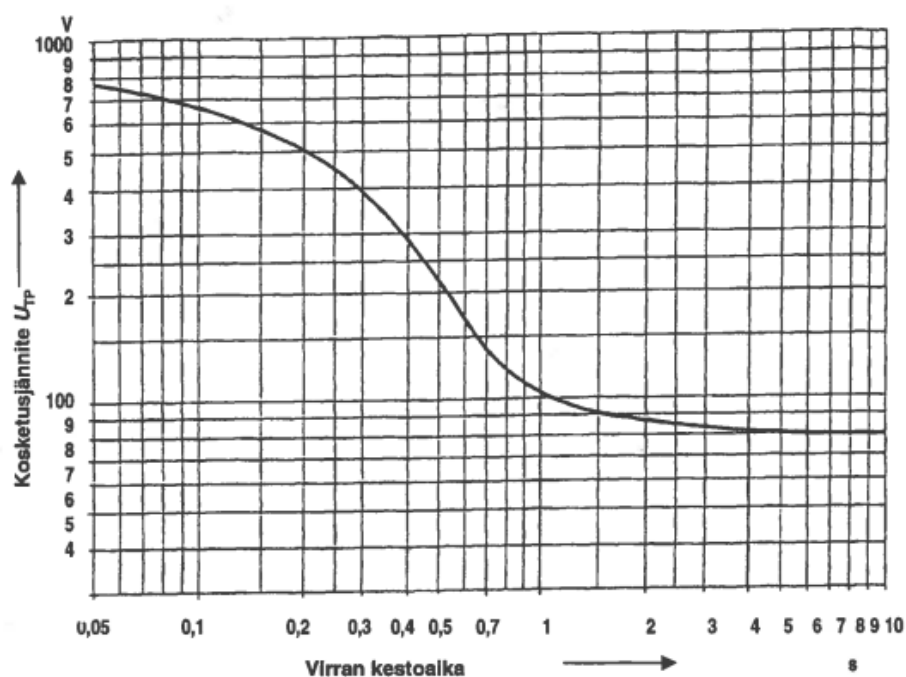
2.3 Kosketusjännite

Maasulkuvikavirta I_e saa maadoitusresistanssissa R_e aikaan maadoitusjännitteen U_e . Maadoitusjännitteen suuruus saadaan suoraan Ohmin laista:

$$U_e = I_e * R_e \quad (3)$$

Maadoitusjännite esiintyy maadoitetuissa osissa kosketusjännitteenä, joka voi olla hengenvaarallinen. SFS 6001 antaa kosketusjännitteelle U_{TP} sallitun arvon virran kestojen funktiona, joka esiintyy kuvassa 4 (ks. seur. s.).

Jännitetasojen maadoitukset tulisi liittää toisiinsa aina, kun se on mahdollista. Tämä toisaalta aiheuttaa keskijänniteverkon maasulun aikaiset kosketusjännitteiden esiintymiset pienjännitepuolella. Sen takia maadoitusjärjestelmien yhdistäminen on toteutettava standardin ehtojen mukaisesti.



Kuva 4. Kosketusjännitteen sallitut arvot virran kestoajan funktiona; kestoajan yltäessä 10 s on sallittu kosketusjännite 75V (2)

Maadoituksista riippuen sallitaan maadoitusjännitteen olla kosketusjännitteeseen nähden kaksin-, nelin- tai viisinkertainen. Jos järjestelmä on maadoitettu vain syöttöpisteessä, esimerkiksi muuntamalla, ajatellaan maadoitusjännitteen esiintyvän suoraan kosketusjännitteenä. Tällöin U_e saa olla enintään sallitun U_{TP} suuruinen. U_e sallitaan olla korkeintaan kaksinkertainen U_{TP} :seen nähden, jos pienjänniteverkko on useasta haarasta maadoitettu.

Teknisistä tai taloudellisista syistä johtuen sallitaan U_e olla nelinkertainen, mutta tällöin jokainen pienjännitehaara tulee maadoittaa, sekä SFS 6001 liitteen D mukaiset toimenpiteet on tehtävä. Erityistapauksissa, esimerkiksi vaikeissa maadoitusolosuhteissa, joissa syötetään yhtä kuluttajaa, sallitaan $U_e \leq 5 \cdot U_{TP}$. Tällöin jokaisessa pienjännitehaarassa on maadoituselektrodi, joka tulisi liittää rakennuksen pääpotentiaalintasausjärjestelmään tai maadoituselektrodina käytetään rakennuksen ympärille asennettua rengasta. Jos yhtään edellä mainittua ehtoa ei voi täyttää, tulee keskijännite ja pienjännite maadoitukset eritellä toisistaan. (3, s. 76).

Maadoitusmittaukset suositellaan uusittavan 6 vuoden välein, mikäli maadoitus on vain yhden maadoitusjohtimen varassa, tai 12 vuoden välein mikäli maadoitusjohtimia on useampi. Mikäli tiedetään maaperässä esiintyvän korroosiota, suositellaan mittausten

yhteydessä tarkastettavan maadoitusjohdin esiin kaivamalla. Laajaan maadoitusverkkoon liitettäessä ei tarvitse maadoitusvastusta mitata, vaan sen todetaan olevan riittävä muulla tavalla.

Laajan maadoitusverkon määrittäminen ei ole yksiselitteistä. SFS 6001 on määrittänyt laajan maadoitusverkon seuraavasti:

Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentiaalipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat, ettei kyseisellä alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä

Tyypillisinä laajan maadoitusjärjestelmän kohteina pidetään taajamia sekä teollisuusalueita. Jo kolmen muuntopiirin yhdistäminen voi riittää laajan maadoitusverkon luomiseen, mutta myös tällöin tulee verkon olla riittävän tiheä ja verkkomainen. Yksittäisen maadoitusjohtimen katkeaminen ei saa vaikuttaa kosketusjännitteiden kasvuun vaaralliselle tasolle. (4)

3 Maasulkuvikavirran kompensointi

Maasulkuvikavirran kompensoinnissa tulee huomioida kolme kohtaa:

1. maasulkuvikavirran suuruus
2. resistiivisen virran osuus maasulkuvikavirrasta
3. lähdön pituuden aiheuttama resistiivisen virran suuri kasvu.

Jokainen kohta tulee huomioida, mutta kaksi ensimmäistä kohtaa ovat tärkeimmät niiden ollessa yleisempiä. Kolmas kohta tulee kaupunkiverkoissa harvemmin vastaan, mutta aiheuttaa ongelmia haja-asutusalueilla, jossa kaapelointi tulee tulevaisuudessa aiheelliseksi. Sammutetussa verkossa voi esiintyä vaarallisia kosketusjännitteitä, mikäli resistiivinen virta kasvaa liian suureksi.

3.1 Maasulkuvikavirran kompensointi keskitetysti

Keskitetyssä kompensoinnissa kuristin on sijoitettu sähköasemalle, jolloin se kompensoi yhden päämuuntajan verkon maasulkuvirran. Jokainen päämuuntaja tarvitsee oman keskitetyn kompensoinnin järjestelmän. Keskitetty kompensointi on perinteinen tapa kompensoida maasulkuvikavirtaa. Kuristin sijoitetaan yleensä erilliseen rakennukseen sähköasemalla (5). Keskitetyn kompensoinnin kustannukset ovat noin 100 k€.

Yleisesti keskitetyt kompensointikuristimet ovat säädettäviä järjestelmiä. KytKentä tilanteiden muuttuessa automatiikka säätää kuristinta, jolloin asetettu kompensointiaste pysyy samana. Kuristimien säätöalue on tyypiriippuvainen; upposydämisillä se on noin 10 - 100 % ja liukusydämisillä 20 - 100 %.

Keskitetyllä kompensoinnilla kyetään kompensoimaan suuria maasulkuvikavirtoja, jolloin parhaassa tapauksessa kyetään sammuttamaan verkon maasulku. Tämän seurauksena hinta/kompensoitu A putoaa pieneksi, jopa 200 €/A

Verkossa esiintyvä resistiivistä virtaa tyypillisesti 5 - 8 % kapasitiivisesta virrasta. Täysin kaapeloidussa verkossa resistiivistä virtaa on 2 - 3 % ja ilmajohtoverkossa resistiivinen virta voi olla jopa 15 % kapasitiivisesta (6). Riittävän pitkällä johtolähdöillä resistiivinen virta kasvaa voimakkaasti, heikentäen sammutusta ja mahdollisesti aiheuttaen kosketusjänniteongelman. Tämän takia keskitettyä kompensointia käytetään kompensoimaan verkon ilmajohto osuus ja hajautetulla kompensoidaan maakaapelilähdöt.

Suurin etu keskitetyssä kompensoinnissa on sen tehokkuus. Koska kompensointiin liittyy automatiikka, joka etsii uuden resonanssipisteen tai pitää kompensointiasteen samana, on kompensointi yksinkertaisempaa kytkentöjä muuttaessa.

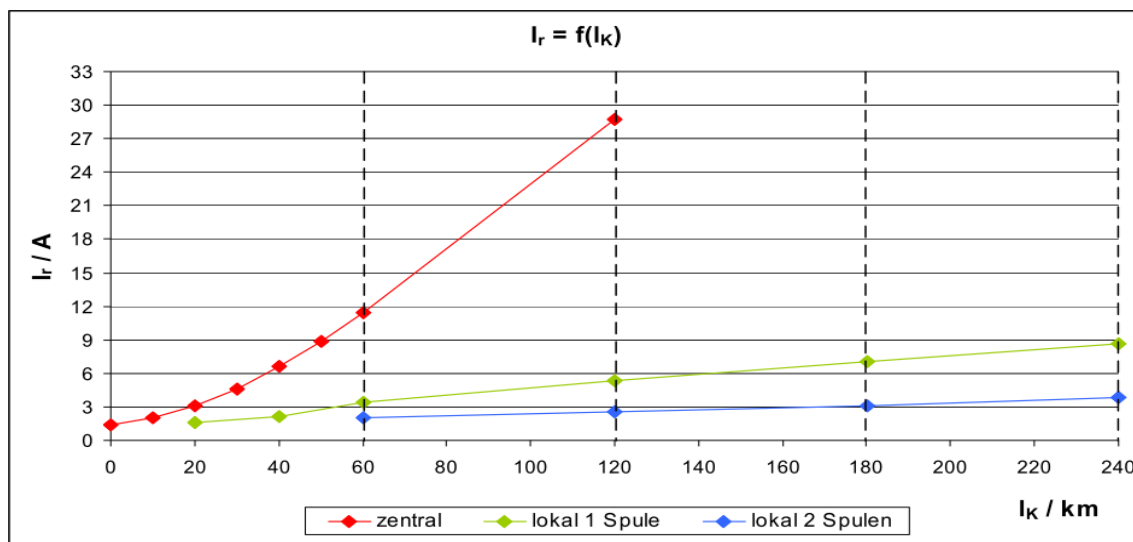
3.2 Maasulkuvikavirran kompensointi hajautetusti

Hajautetussa kompensoinnissa kuristimet ovat sijoitettu jakelumuuntajien yhteyteen. Kuristimet ovat manuaalisesti säädettäviä, kompensointikyvyiltään aina 15 A:iin. Kuristimen mitoitus ja sijoitus valitaan siten, että kuristimen virta on korkeintaan edeltävän johto-osan maasulkuvikavirran suuruinen. Tarkoituksena on kompensoida kapasitiivinen virta lähellä sen syntypaikkaa, jolloin johtimien aiheuttama pätövirta jää pieneksi.

Valmistajat tarjoavat jakelumuuntajaan integroitua maadoitusmuuntajaa, jolloin se ei tarvitse erillistä tilaa. Jotkin valmistajat sisällyttävät mukaan myös loistehonkompensoinnin, jolloin parannetaan taloudellisuutta. Kompensointi lisää muuntajan hintaa noin 10 k€.

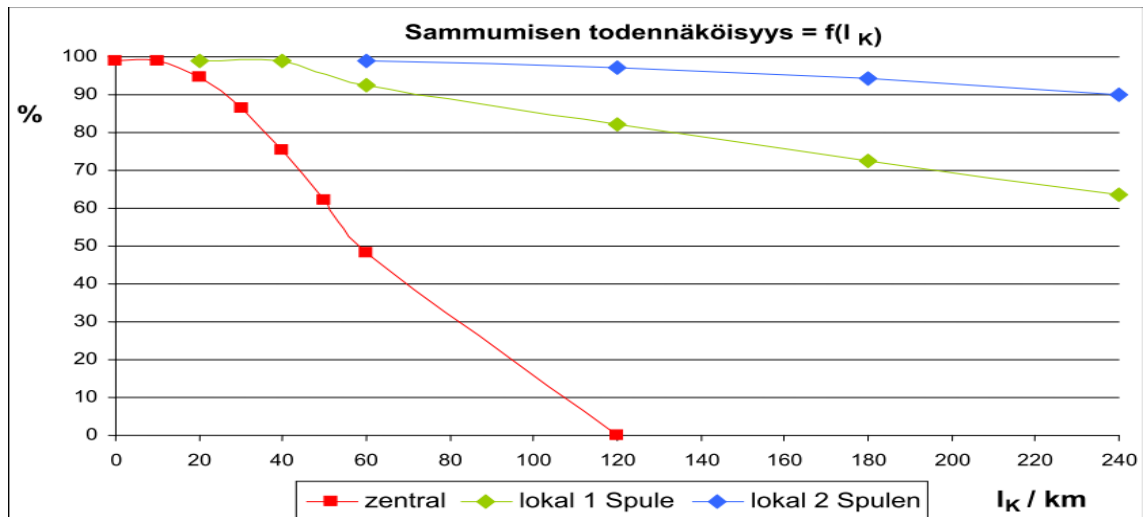
Koska kompensointikelat ovat osa jakelumuuntajaa, siirtyvät ne kytkentämuutosten mukana. Verkko saattaa ylikompensoitua uudella kytkennällä, jolloin normaali maasulkureleistö ei kykene havaitsemaan maasulkua luotettavasti. Alikompensoidussa verkossa lähimpänä sähköasemaa oleva maadoituskuristin tulee mitoittaa niin, että johto tuottaa 20 % suuremman maasulkuvirran kuin kuristin kompensoi. Kompensointi voidaan lyhyiden johtolähtöjen osalta sijoittaa myös sähköaseman kiskostoon. Jotta sammutus saavutetaan myös alikompensoidussa verkossa, tulisi jäännösvirran olla korkeintaan 20 A ja kompensointiasteen noin 65 %. (7)

Hajautetun kuristimen ei tulisi olla ainoa ratkaisu maasulkuvikavirtoja varten. Keskitetyn maasulkukompensoinnin ollessa kytketty pois päältä mittaavat releet virran kapasitiivista osaa. Mikäli verkolla on hajautettuja kuristimia, vähenee kapasitiivinen virta mahdollisesti liian pieneksi releiden havahtumiseen. Hyvin pitkillä johtolähdöillä aiheuttaa johtimien impedanssi resistiivisen virran kasvun, jota ei kyetä kompensoimaan. Resisttiivisen virran kasvu esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Resisttiivisen virran kasvu. Zentral = vain keskitetty kompensointi, lokal 1 Spule = yksi hajautettu kompensointikuristin ja lokal 2 Spule = kaksi hajautettua kompensointikuristinta (8)

Kuvasta 5 huomataan, että jo yhden hajautetun kompensointikuristimen sijoitus lähtöön pienentää resistiivistä virtaa huomattavasti. Myös ilmajohto tuottaa resistiivistä virtaa, mutta sen synnyttämä maasulkuvikavirta on lähtökohtaisesti pienempi, jolloin se ei kasva merkittävään osaan. Resisttiivisen virran kasvu on suoraan yhteydessä sammutuksen onnistumiseen, sillä liian suureksi kasvaneen jäännösvirran takia vian aikainen virtatie ei katkea kompensoinnista huolimatta. Sammutuksen todennäköisyys suhteessa kuvan 5 resisttiivisen virran kasvuun esitetään kuvassa 6:



Kuva 6. Sammutuksen todennäköisyys suhteessa resisttiiviseen virtaan (8)

Hajautettu kompensointikuristin on taloudellista hankkia vain hyvin pitkille johtolähdöille tai kun sähköaseman maasulkuvikavirran ei oleteta kasvavan huomattavasti nykyisestä. Hinta/kompensoitu A on noin 670 €/A. Taloudellisuutta nostaa loistehon kompensointi.

4 Maasulkuvikavirran suuruus nykyään

Lahti Energian sähköverkossa on 11 sähköasemaa, joissa kahdeksassa on LE-sähköverkon omistama 110/20 kV:n päämuuntaja. Kolavan sähköasema toimii kytkentäpisteenä Nikkilän ja Uudenkylän välillä. Asemalla on VR:n kaksi omistamaa 110/25 kV syöttömuuntajaa. Kahdeksalla sähköasemalla on päämuuntajaa liitettävä kompensointi kuristin. Kahdelta sähköasemalta puuttuu kompensointi, sillä niissä on puhdas maakaapeliverkko. Sähköasemat, joilla on kaksi päämuuntajaa, kuristin on kytkettävissä kumpaan tahansa muuntajaan.

Maasulkukompensoinnin rinnalla on jokaisella asemalla lisävastus jatkuvasti kytketty, joka tuottaa 10 A resistiivistä virtaa. Kompensointiaste jokaisella asemalla on säädetty siten, että kompensointi on 10 A pienempi kuin verkon maasulkuvikavirta. Jäännösvirta saatiin laskettua maasulkuvikavirran sekä kelan läpikulkevan virran kompleksilukujen summana.

4.1 Kytölän sähköasema

Kytölän sähköasemalla on kaksi päämuuntajaa, joiden perässä on yhteensä 105,1 km verkkoa. KYTPM1:n perässä oleva verkko koostuu 37,2 km maakaapelia ja 1,6 km päällystettyä ilmajohtoa. Kaapelointiaste on siten 96 %. KYTPM2:n perässä oleva verkko koostuu 39,1 km maakaapelia, 18,4 km avojohtoa ja 8,8 km PAS-johtoa. Kaapelointiaste on 59 %. Asemalle on vuonna 2009 asennettu automaattinen kompensointikuristin, mikä kykenee kompensoimaan 160 A

Kytölässä maasulkusuojausreleet ovat aseteltu toimimaan 2 A ylöspäin 0,3 sekunnissa ja 100 A ylöspäin 0,1 sekunnissa. Katkaisijan toimintaviive on 0,06 s, joka lisätään asetteluajan päälle.

KYTPM2:n perässä on nykytilanteessa viisi lähtöä, ja niiden tuottama maasulkuvikavirta on 117,5 A. Ainoastaan Kytölän lähtö ei sisällä yhtään ilmajohtoa, muiden lähtöjen sisältäessä sekä avojohtoa että PAS-johtoa sekalaisesti. Kosketusjännitteet tulevat tarkasteltaviksi, sillä verkko on sammutettu.

Verkossa luontaisesti esiintyvä resistiivinen maasulkuvikavirta on noin 6 A. Jäännösvirtaa maasulkutilanteessa esiintyy noin 18,9 A. Tämä asettaa maadoitusresistanssille enimmäisvaatimukseksi 37 Ω .

4.2 Kymijärven sähköasema

Kymijärven sähköasemalla on yksi päämuuntaja, jonka perässä on 77,3 km verkkoa. KYMPM perässä oleva verkko koostuu 15,9 km avojohtoa, 3,4 km PAS-johtoa, 58 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 75 %. Asemalle on vuonna 2002 asennettu automaattinen sammutuskuristin, mikä kykenee kompensoimaan 200 A.

Kymijärven sähköasemalla maasulkusuojausajan aika-asettelut ovat yli 2 A:n maasulkuvirralla 0,3 s ja yli 100 A:n maasulkuvirralla 0,1 s. Katkaisijan toimintaviive on 0,04 s.

Muuntajan perässä on nykytilanteessa 8 lähtöä, sisältäen omakäyttö lähdön, ja niiden tuottama maasulkuvikavirta on 184,4 A. Verkossa luontaisesti esiintyvä resistiivinen maasulkuvikavirta on arviolta 9 A. Jäännösvirtaa maasulun aikana esiintyy 19 A. Tämän myötä maadoitusresistanssien tulisi olla korkeintaan 36 Ω .

4.3 Salpakankaan sähköasema

Salpakankaan sähköasemalla on kaksi päämuuntajaa, joiden perässä on yhteensä 202,7 km verkkoa. SKSPM1 perässä oleva verkko koostuu 2,2 km avojohtoa, 1,8 km PAS-johtoa, 37,8 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 90 %. SKSPM 2 jaottelu on 119,5 km avojohtoa, 20,9 PAS-johtoa, 20,5 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 13 %. SKSPM1 on maasta erotettu ja SKSPM2 sammutettu. Asemalle on vuonna 2011 asennettu automaattinen sammutuskuristin, mikä kykenee kompensoimaan 219 A.

Salpakankaalla maasulkusuojausreleiden aika-asettelut vaihtelevat lähdeittäin. Yli 2 A:n maasulkuvikavirralla asetellut ovat väliltä 0,3 - 0,6 s. Pikalaukaisua ei ole asemalla käytössä millään lähdöllä. Katkaisijan toimintaviive on 0,08 s.

SKSPM2 omaa erittäin laajan verkon, mutta koska se on pitkälti ilmajohtoa, on sen maasulkuvikavirta pienempi; 76,5 A. Verkossa luontaisesti esiintyvä resistiivinen maasulkuvikavirta arvioidaan olevan noin 4 A. Jäännösvirtaa maasulun aikana esiintyy 15,2 A. Korkein toiminta-aika päämuuntajan maasulkureleissä on 0,53 s, jonka seurauksena maadoitusresistanssien sallitaan korkeintaan olevan 26 Ω .

4.4 Sopenkorven sähköasema

Sopenkorven sähköasemalla on kolme päämuuntajaa, joissa yhdessä on kaksi toisiojännite tasoa ja yhdessä pelkästään 10 kV:n. Tässä työssä käsitellään vain 20 kV jännitetasoa. SOPPM2:n perässä oleva verkko koostuu 25,4 km avojohtoa, 11,6 km päällystettyä avojohtoa ja 29,3 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 44 %. SOPPM4 muuntopiiri koostuu 52 km:stä maakaapelia. SOPPM2 on sammutettu ja SOPPM4 on

maasta erotettu. Asemalle on vuonna 2010 asennettu automaattinen sammutuskuristin, mikä kykenee kompensoimaan 219 A.

Maasulkusuojausreiden aika-asettelut ovat yli 2 A:n maasulkuvirralla 0,3 s ja yli 100 A:n maasulkuvirralla 0,1 s. Katkaisijan toimintaviive on 0,06 s.

SOPPM2:n verkko koostuu neljästä lähdöstä, ja niiden tuottama maasulkuvikavirta on tällä hetkellä 94,7 A. Verkossa esiintyvä luontainen resistiivinen maasulkuvikavirta on arviolta 5 A. Jäännösvirtaa maasulun aikana esiintyy 15,8 A. Maadoitusresistanssien tulisi tällöin olla korkeintaan 44 Ω .

4.5 Villähteen sähköasema

Villähteen sähköasemalla on yksi päämuuntaja, jonka perässä on 96,7 km verkkoa. VLEPM perässä oleva verkko koostuu 56,3 km avojohtoa, 13,9 km päällystettyä avojohtoa ja 26,5 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 27 %. Asemalle on vuonna 2009 asennettu automaattinen kompensointikuristin, joka kykenee kompensoimaan 120 A.

Villähteellä maasulkusuojausreiden aika-asettelut ovat yli 2 A:n virralla 0,3 s ja yli 100 A:n virralla 0,1 s. Katkaisijan toimintaviive on 0,06 s.

Aseman verkko koostuu viidestä lähdöstä, joiden tuottama maasulkuvikavirta on 87,1 A. Verkossa esiintyvä luontainen resistiivinen maasulkuvikavirta arvioidaan olevan 5 A. Jäännösvirtaa esiintyy maasulun aikana 15,8 A. Maadoitusresistanssien tulisi tällöin korkeintaan olla 44 Ω .

4.6 Kalliolan sähköasema

Kalliolan sähköasemalla on yksi päämuuntaja, jonka perässä on 190,8 km verkkoa. KLLAPM perässä oleva verkko koostuu 107,5 km avojohtoa, 68,2 km päällystettyä ilmajohtoa ja 15,2 km maakaapelia. Kaapelointiaste on 8 %. Asemalle on vuonna 2010 asennettu automaattinen kompensointikuristin, joka kykenee kompensoimaan 120 A.

Asemalla on maasulkureiden aika-asettelut säädetty laukeamaan yli 2 A:n maasulussa 0,3 sekunnissa. Maasulkuvirran ylittäessä 100 A:n laukeaa momenttilaukaisu 0,1 sekunnissa. Katkaisijan toimintaviive on 0,045 s.

Päämuuntajalta on viisi lähtöä. Hyvin suuren ilmajohto-osuuden takia sähköaseman maasulkuvikavirta on verrattain pieni; vain 58,7 A. Verkossa esiintyvä luontainen resistiivisen maasulkuvikavirran arvioidaan olevan 3 A. Jäännösvirtaa maasulun aikana esiintyy 14,8 A. Maadoitusresistanssin saavat tällöin olla korkeintaan 47 Ω .

4.7 Uudenkylän sähköasema

Uudenkylän sähköasemalla on kaksi päämuuntajaa, joiden perässä on yhteensä 144,1 km verkkoa. UUSPM1 perässä oleva verkko koostuu 47,9 km:stä avojohtoa, 39,6 km:stä päällystettyä ilmajohtoa ja 34,2 km:stä maakaapelia. Kaapelointiaste on 28 %. UUSPM2 perässä oleva verkko koostuu 22,3 km:stä maakaapelia. UUSPM1 on sammutettu ja UUSPM2 on maasta erotettu. Asemalle on vuonna 2006 asennettu kompensointikuristin, joka kykenee kompensoimaan 216 A.

Asemalla on maasulkureiden aika-asettelut säädetty laukeamaan yli 2 A:n maasulussa 0,36 sekunnissa, joka sisältää 0,06 sekunnin toimintaviiveen. Turbiini-lähdön yli 2 A:n aikalaukaisu on aseteltu laukeamaan muista poiketen 0,66 sekunnissa, sisältäen saman toiminta-aika hidastuksen. Yli 100 A:n maasulkuvikavirran aikana momenttilaukaisu toimii 0,16 sekunnissa, jossa on arviolta 0,06 sekunnin toimintaviive mukana.

Maasulkuvikavirta on UUPM1:n perässä 99,3 A, josta verkon tuottama resistiivinen virta on arviolta 5 A. Maasulun aikana jäännösvirtaa esiintyy 15,8 A, jonka seurauksena maadoitusresistanssin enimmäisvaatimus on päämuuntajan perässä on 19 Ω .

5 Maasulkuvikavirran suuruus kaapeloinnin lisääntyessä

Lasketaan mahdolliset kaapeloinnit AHXAMK-W 3x185+35Cu-kaapelilla, sillä se on todennäköisin korvaava kaapeli ilmajohdon tilalle. Kyseisen kaapelin tuottama maasulkuvikavirta on noin 3 A/km. Ilmalinjat ovat aikanaan pyritty rakentamaan mahdollisimman suoraan eli usein metsän lävitse. Uusi maakaapeli rakennetaan helpompi pääsyiselle alueelle, esimerkiksi tien varteen, jonka kiemurellessa kasvattaa kaapelipituutta.

Laskelmissa on oletettu uuden kaapelipituuden olevan 10 % pidempi, kuin korvattava ilmajohto. Vuoteen 2028 mennessä pyritään 70 % kokonaiskaapelointiasteeseen, mutta mahdollisesti aikanaan koko verkko on maissa. Tämän takia tulisi kompensoinnin lisäystä pohtia myös maakaapeliverkon kompensointitarpeen näkökulmasta.

5.1 Kytölän sähköasema

Kytölän sähköasemalla tulevaisuuden kaapelointi painottuu KYTPM2:n puolelle, sen sisältäen lähes koko aseman ilmajohto-osuuden. KYTPM1:n puolella vain Kiviharjun lähtö sisältää merkittävän osan ilmajohtoa, eikä sen kaapelointi vaikuta maasulkuvikavirran suuruuteen merkittävästi sen noustessa muutamalla ampeerilla 119,4 A:iin. KYTPM2:n maasulkuvikavirran kasvupotentiaali nykyisellä verkolla on 207,3 A:iin asti

Aseman kompensointi pysyy relevanttina niin kauan kuin KYTPM2:n kaapelointiaste on korkeintaan noin 82 %. Tämän jälkeen jäännösvirta, resistiivinen sekä kapasitiivinen osa yhdessä, tulisi kasvamaa yli 20 A:in. Sammutuksen onnistuminen on mahdollinen, mutta ei täysin varmaa. Ilmajohtoa olisi jäljellä, kaapeloitavista lähdoista riippuen, hieman päälle 11 km.

Täysin kaapeloitu ja kompensoidussa KYTPM2-verkossa esiintyisi tulevaisuudessa arviolta 4,2 A resistiivistä maasulkuvikavirtaa. Tämän seurauksena saisivat maadoitusresistanssit korkeintaan olla 35 Ω .

KYTPM1 puolella resistiivinen maasulkuvikavirta pysyy noin 6 A:ssa. Mikäli tulevaisuudessa halutaan kompensoida verkko käytettäväksi maasulun aikana, tulee maadoitusresistanssin olla korkeintaan 25 Ω . Tämä arvo tullaan saavuttamaan ilman lisämaadoituskustannuksia.

5.2 Kymijärven sähköasema

Aseman maasulkuvikavirta on nykytilanteessa suuri, eikä kompensointi kestä suurta vikavirran kasvua. Maasulkuvikavirralla on kasvupotentiaalia nykyisellä verkolla 248,1 A:iin asti. Maadoituksen asemalla sallivat 23 A jäännösvirran, jonka jälkeen kosketusjännitteet ylittävät sallitut rajat. Myös sammutuksen onnistumista voidaan pitää epäto-

dennäköisenä. Kompensointilaitteisto pysyykin relevanttina niin kauan kun kaapelointiaste on alle 87 %.

Sammutettaessa puhdas maakaapeliverkko jää resistiivistä maasulkuvikavirtaa enimmillään 7,5 A. Tällöin maadoitusresistanssien enimmäisvaatimus olisi 20 Ω , käytettäessä vian aikana.

5.3 Salpakankaan sähköasema

SKSPM1 puolella ilmajohtoverkkoa on vain Virastotalon sekä teollisuuden lähdoissa. Maasulkuvikavirta ei tulisi kasvamaan merkittävästi, sen noustessa noin 130 A. SKSPM2:n laaja ilmajohtoverkko mahdollistaa radikaalin maasulkuvirran kasvun. 70 % kaapelointiasteessa kasvaisi maasulkuvikavirta 400,8 A:iin. Kaapeloitaessa koko verkko olisi maasulkuvikavirta jopa 540 A.

SKSPM2:n kompensointiin ei tulevaisuudessa riitä nykyinen kuristin. Maadoitukset salivat 18 A jäännösvirran. Sammutus on vielä tällöin mahdollinen. Kompensointikyky ylitetään noin 44 km kaapeloinnilla, jolloin kaapelointiaste on 42 %.

Koko SKSPM2:n verkon kaapelointi ja kaapeliverkon sammuttaminen tulisi olemaan hyvin kallista. Koska Tiilikankaan ja Hälvälän lähdot ovat niin pitkät, tulisi niiden kaapelipituus olemaan yli 60 km, jolloin resistiivistä virtaa lähtö tuottaisi 12 A. Ilman hajautettuja kompensointikuristimia lähtöjen resistiivinen maasulkuvikavirta aiheuttaa kosketusjännitteen nousun.

SKSPM1:n verkon maasulkuvikavirran kasvu on hyvin pientä, joten se olisi tulevaisuudessa halvempi kompensoida. Resisttiivinen maasulkuvikavirta maakaapeliverkossa olisi noin 4 A, maadoitusresistanssi saisi tällöin olla korkeintaan 37 Ω .

5.4 Sopenkorven sähköasema

Sopenkorvessa ilmajohtoverkkoa on vain SOPPM2:n puolella. SOPPM4:n puolella maasulkuvikavirta tulisi pysymään muuttumattomana 161,1 A sen ollessa puhdasta maakaapeliverkkoa. SOPPM2:n verkon maasulkuvikavirran kasvu potentiaali on 217 A:iin asti.

Sopenkorven sammutuskuristin kykenee täysin sammuttamaan SOPPM2:n verkon, myös täysin kaapeloituna. Resistiivinen maasulkuvikavirta kasvaa täysin kaapeloidussa verkossa noin 6,5 A:iin. Maadoitusresistanssi tulisi näin ollen olla enintään 23 Ω , jotta verkkoa voidaan käyttää vian aikana.

SOPPM4:n sammuttamista varten joudutaan hankkimaan toinen keskitetty kompensointikuristin. Verkossa esiintyvä resistiivinen maasulkuvikavirta verkossa tuolloin olisi 5 A, jonka myötä maadoitusresistanssien enimmäisvaatimus olisi 30 Ω .

5.5 Villähteen sähköasema

Maasulkuvikavirran kasvu potentiaali on asemalla noin 300 A:iin asti. Nykyiset maadoitusresistanssit sallivat 17,5 A jäännösvirran. Sammutus tällöinkin on todennäköistä. Kompensointikyky ylitetään 12 km kaapeloinnilla. Maadoitusresistanssien suhteen sallittaisiin tuolloin 40 Ω .

Kompensoitaessa puhdas maakaapeliverkko, esiintyy siinä arviolta 9 A resistiivistä maasulkuvikavirtaa. Suurin sallittu maadoitusresistanssi tällöin olisi 17 Ω .

5.6 Kalliolan sähköasema

Teoreettinen maasulkuvikavirran kasvu olisi asemalla jopa 580 A. Kompensointikuristimen ollessa verrattain pientä jää se pieneksi jo 18 km kaapeloinnin jälkeen. Jäännösvirtaa tällöin esiintyisi noin 10 A.

Mikäli tulevaisuudessa päätetään kaapeloida koko verkko, tulee lähtöjen pituuden takia resistiivisen virran kasvu esille. Vaanian, Urajärven ja Arkiomaan lähdöt ovat yli 40 km pitkiä, jolloin niissä resistiivistä maasulkuvikavirtaa tulisi esiintymään 6 - 7 A/lähtö. Resistiivinen virta voisi mahdollisesti nousta näin ollen jopa 25 A, kun mukaan otetaan muun verkon luontaisesti tuottama resistiivinen maasulkuvikavirta. Maadoitusresistanssien tulisi tällöin olla korkeintaan 28 Ω .

5.7 Uudenkylän sähköasema

UUSPM2 verkon rakenne ei ole nykytilanteen osalta muuttumassa, sen ollessa nykyisellään jo puhtaasti maakaapeliverkko. Haluttaessa kompensoida maasulku verkko tulevaisuudessa, tulisi siinä esiintymään resistiivistä virtaa arviolta 2 A, josta johtuvaa 75Ω maadoitusresistanssivaatimusta ei ylitetä missään päin verkkoa.

UUSPM1:n verkon kaapeloittaminen aiheuttaa merkittävän nousun maasulkuvikavirrassa, jopa 390 A:iin. Koska Turbiini-lähdöllä on 0,66 s laukaisuaika, aiheuttaa se kohonnoita maadoitusresistanssivaatimuksia jäännösvirran kasvaessa. Mikäli kaapeloitetaan niin, että kompensointikyky saavutettaisiin, esiintyisi verkossa silloin jopa 17,3 A jäännös maasulkuvikavirtaa. Tällöin maadoitusresistanssit saisivat olla korkeintaan 17Ω .

Kaapeloitaessa koko UUSPM1:n verkko tulee lähtöjen Sylvöjärvi ja Lekatie kohdalla aiheelliseksi harkita hajautettua kompensointia lähtöpituuden ollessa lähemmäs 40 km. Ensisijaisesti tulisi kuitenkin hankittavaksi keskitetty kuristin.

6 Ratkaisuja maasulkuvirran hallintaan

6.1 Topologiamuutokset

Topologian avulla saavutetut tulokset eivät ole lopullisia ratkaisuja. Niiden avulla voidaan jakaa maasulkuvikavirtoja siten, että kompensoitu sekaverkko saadaan sammutuksi, samalla kun sitä maasta erotetussa verkossa kasvatetaan.

Salpakankaan Kalliolan asemalla topologiset ratkaisut tulevat oleellisiksi, jos halutaan leikata maasulkuvirran kasvua siirtämällä kaapeloitua osuuksia maasta erotetun verkon puolelle. Kaapeloitaessa Okeroisen lähtö kokonaan voitaisiin se siirtää SKSPM1:lle, loiventaen näin maasulkuvikavirtaa SKSPM2:lla 50 A:lla.

Pilkkomalla Tiilikankaan ja Hälvälän lähtöjä kyetään vähentämään pitkän johtolähdön tuottaman resistiivisen virran kasvua. Tiilikankaan lähdöllä on yhteys Sopenkorven sähköaseman Tapanilan lähtöön sekä Kalliolan sähköaseman Vaanian sekä Isokari

lähtöihin. Jakorajojen muutokset tulevat ainoastaan eteen mikäli Salpakankaalla kaapeloidaan ennen Sopenkorpea tai Kalliolaa.

6.2 Kompensoinnin lisääminen

Sammutus on nykyään toteutettu niin, että maasulun aikana esiintyy myös kapasitiivista jäännösvirtaa. Nykytilanteessa kyettäisiin toteuttamaan sammutus jokaisella asemalla, jolloin varmennetaan sammutuksen onnistuminen. Koska kuristimen rinnalla on lisäresistanssi, kykenevät releet havaitsemaan maasulun kunhan asettelelurajat on asetettu oikeanlaisiksi.

Vain Sopenkorven sähköasemalla on nykyisin riittävän suuri kompensointikuristin, että se kykenee kompensoimaan koko verkon, myös täysin kaapeloidussa verkossa. Hajautettua kompensointiakaan ei tarvitse hankkia, sillä asema ei nykytilanteen mukaan sisällä hyvin pitkiä kaapelilähtöjä.

Kymijärven sekä Kytölän asemilla voi hajautettujen kuristimien hankkiminen osoittautua halvemmaksi ratkaisuksi kaapeloinnin lisääntyessä. Kuristimia tarvittaisiin neljä, jolloin kyetään kompensoimaan täysin puhdas maakaapeliverkko.

Koska hajautetulla kompensoinnilla saavutetaan suurin hyöty sammutetussa verkossa, jossa on yli 60 km maakaapeliverkko, tulisi hajautetun kompensoinnin sijasta kiinnittää huomio tulevaisuudessa keskitetyn kompensoinnin riittävyden huomioimiseen. Ainoastaan Salpakankaan sekä Kalliolan asemilla voidaan todeta hajautetun kompensoinnin tuovan lisähyötyjä, muunkin kuin lisäkompensoinnin myötä. Salpakankaalla Hälvälän sekä Tiilikankaan lähtöjen suuren pituuden takia sijoittamalla niihin hajautettuja kuristimia kyetään varmistamaan sammutus suuremmalla todennäköisyydellä ja

estämään resistiivisen virran hurja kasvu. Kalliolassa tulee pohtia hajautetun kompensoinnin hankkimista, sillä siellä kolme lähtöä on yli 40 km, jolloin kumulatiivisen virran takia olisi syytä hajautettuja kuristimia sijoittaa verkkoon.

6.3 Maadoitusten varmentaminen

Uusilla mittauksilla voitaisiin varmentaa maadoitusten todellinen arvo, sillä muutamassa mittauspisteessä voidaan olettaa olevan mittaus- tai merkintävirhe arvojen ollessa kohtuuttoman suuria.

Mikäli tulevaisuudessa pyritään kompensoimaan täysin kaapeloidut verkon siten, että niitä voidaan käyttää myös vian aikana, tulee riittävän kompensoinnin lisäksi varmistaa riittävän hyvät maadoitukset. Mittauksiin tulee kiinnittää huomiota, että ne tehdään standardien mukaisesti sekä niistä saadut mittaustulokset kirjataan oikein tietokantoihin.

Mittausten toteuttajien tulee olla selvillä, mikä on tavoiteltu maadoitusresistanssin arvo ja mikäli tavoiteltua arvoa ei saavuteta, tulee olla selkeät ohjeet, miten toimia. Myös tieto suunnittelijoille tulee tapahtua suoraan, jotta asioihin osataan joka tasolla puuttua. Näin vältetään virheellisiltä mittaustuloksilta, joita ei saisi esiintyä verkkotilasta huolimatta. Myös mittausten aikaväli tulisi huomioida.

Selvittämällä, mitkä muuntamot kuuluvat laajaan maadoitusverkkoon helpottaa mittausten suorittamista, sillä laajaan maadoitusverkkoon kuuluvia muuntamoita ei tarvitse mitata. Näin voidaan mittaajat ohjata haja-asutusalueiden muuntamoihin, joissa nykytilanteessa havaitaan suuria määriä vanhentuneita mittauksia.

7 Johtopäätökset

Lahti Energia Oy:n sähköverkossa on nykyisin Teivaanmäen sähköasema täysin 10 kV järjestelmänä. Tulevaisuudessa tämäkin asema muuttuu 20 kV:n järjestelmäksi. Siirryttäessä 20 kV:n järjestelmään kasvavat maasulkuvikavirrat noin kaksinkertaisiksi. Nykyinen maasulkuvikavirta asemalla on 23,7 A. Se nousisi noin 50 A:iin nykyisellä verkolla. Aseman verkon suppeuden takia olisi se tulevaisuudessa mahdollista ottaa käytettäväksi maasulun aikanakin. Pienen maasulkuvikavirran takia, voitaisiin asemaa käyttää puhtaan maakaapeliverkon maasulkukompensoinnin kokeilu asemana. Näin saataisiin omakohtaisia kokemuksia asiasta, joita voidaan soveltaa jatkossa muilla asemilla. Verkko sijaitsee kaupunkialueella, jolloin maadoitusten tulisi olla hyvät, ja

täyttää jopa laajan maadoitusverkon vaatimukset. Tämä helpottaa verkon sammuttamista.

Maasulkujen kompensoinnista ei ole nykyisin omaa standardia. Kompensoinnissa oletetaan maasulkuvikavirta kumotuksi, jolloin vaarallisia kosketusjännitteitä ei pääse syntymään. Kompensoidussakin verkossa kuitenkin esiintyy resistiivistä vikavirtaa, joka voi tietyissä olosuhteissa aiheuttaa ongelmia. Tulevaisuudessa kaapeloinnin lisääntyessä ja maakaapeliverkon kompensoinnin yleistyessä tulee asia varmasti esille, jolloin kiinnitetään huomiota myös resistiiviseen virtaan. Tämän varalta on jo nykyisin hyvä kiinnittää huomiota jäännösvirtaan ja siitä aiheutuviin ongelmiin. Lahdessa keskijänniteverkon lähtöjen keskipituus on 15 km, mutta se sisältää muutaman yli 40 km lähtöä, jotka yksinään tai kumulatiivisesti aiheuttavat resistiivisen virran kasvun. Näissä lähdöissä tulee relevantiksi hankkia hajautettua kompensointia. Muiden asemien kohdalla keskitetty kompensointi riittää kompensointiin. Eteen tulee kuitenkin riittävien keskitettyjen kompensointikuristimien hankkiminen.

Lähteet

- 1 Lakervi Erkki & Partanen Jarmo, 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Haka-paino Oy, Otatieto.
- 2 Lehtonen Jukka, 2006. Lahti Energia Oy:n 20 kV:n jakelujärjestelmän maasulkuvirtojen kompensointitarpeen selvitys. Mikkeli.
- 3 SFS-käsikirja 6001, 2009. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 4 Energiateollisuus, 2005. Verkostosuositus: Sähkönjakeluverkkojen maadoitusmittaukset
- 5 Maviko Oy, Internet-sivut. <http://www.maviko.fi/tuotteet/maasulkuvirran-kompensointi/>.
- 6 Hänninen Seppo, 2001. Single phase earth faults in high impedance grounded networks: Characteristics, indication and location. Espoo: VTT
- 7 Sähköenergialiitto ry SENER, 1994. Verkostosuositus: Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen.
- 8 Lehtonen Matti, Saarijärvi Eero & Nurminen Kari, 2010. Kevyt kaapelijärjestelmä haja-asutusalueiden tarpeisiin. Espoo: Aalto-yliopisto.